

---

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАДИОВИМІРЮВАНЬ**

---

УДК 621.317

**ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ В ШУМОВЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

**Скрипник Ю. А.<sup>1</sup>, д. т. н., профессор;  
Яненко А. Ф.<sup>2</sup>, д. т. н., профессор,  
Шевченко К. Л.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Ваганов А. А.<sup>1</sup>, аспирант**

<sup>1</sup>Киевский национальный ун-т технологий и дизайна, г. Киев, Украина

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины "Киевский  
политехнический институт" г. Киев, Украина

**Вступление. Постановка задачи**

Большинство электромагнитных излучений (ЭМИ) естественного происхождения (солнечное, космическое, земной коры и живых организмов) имеет шумовой характер. Электрическая и магнитная напряженности таких излучений изменяются случайным образом, что делает спектр излучения непрерывным в широком диапазоне сверхвысоких (СВЧ) частот.

Наличие в спектре излучения ряда частот, совпадающих с резонансными частотами клеток и отдельных клеточных структур, обуславливает зависимость жизнедеятельности живых организмов от интенсивности и спектрального состава ЭМИ. Наибольшее влияние на живые организмы оказывает ЭМИ миллиметрового диапазона длин волн (30-300 ГГц) [1].

Диэлектрическим материалам, в частности, материалам для одежды (тканям, кожа, пленкам, композитам) присущи барьерные свойства, которые проявляются в ослаблении воздействия внешних ЭМИ и препятствии взаимодействия собственных ЭМИ с окружающими предметами и внешней средой [2]. Существующие радиоволновые методы оценки электромагнитных свойств материалов для одежды в СВЧ диапазоне не дают полной информации об их барьерных свойствах, так как используют монохроматические ЭМИ высокой интенсивности [3].

Поэтому актуальной задачей является разработка средств и методики измерения электрофизических параметров материалов для одежды в шумовых низкоинтенсивных полях миллиметрового диапазона.

Основной трудностью таких измерений является соразмерность уровня излученных и отраженных ЭМИ с собственными шумами измерительной СВЧ аппаратуры. Дело в том, что шумовое излучение, принятое антенной измерителя, имеет ту же самую статистическую организацию, что и шумовые помехи (тепловые и дробовые шумы) элементов СВЧ тракта (антенны,

усилители, смесителя и др.). Поэтому никакая фильтрация не позволяет увеличить соотношение полезного сигнала (информационный шум) и помехи (собственный шум). Предварительное усиление также не эффективно из-за большого коэффициента шума СВЧ усилителей.

В ряде случаев собственные шумы усилителей превышают уровень информационного шума. Компенсация собственных шумов усилителей и других СВЧ элементов затруднительна из-за непостоянства уровня собственных шумов и флюктуаций коэффициента усиления самих усилителей. Корреляционный метод выделения шумового сигнала не всегда оправдан из-за неизбежной корреляции собственных шумов усилителей.

### Основная часть

Радикальным решением задачи является использование методов и средств модуляционной радиометрии [4], при которой осуществляется периодическое прерывание принимаемого сигнала. Возникающая при этом дополнительная (регулярная) модуляция собственных шумов позволяет в процессе детектирования выделить измеряемый шумовой сигнал, который по уровню может быть значительно меньше собственных шумов приемной части модуляционного измерителя.

Ниже обосновывается методика измерения коэффициента отражения диэлектрических материалов при их шумовом облучении. В основу методики положена схема измерения поглотительной способности материалов при их облучении шумовым СВЧ сигналом [5], доработанной применительно к измерению коэффициента отражения (рис.1).

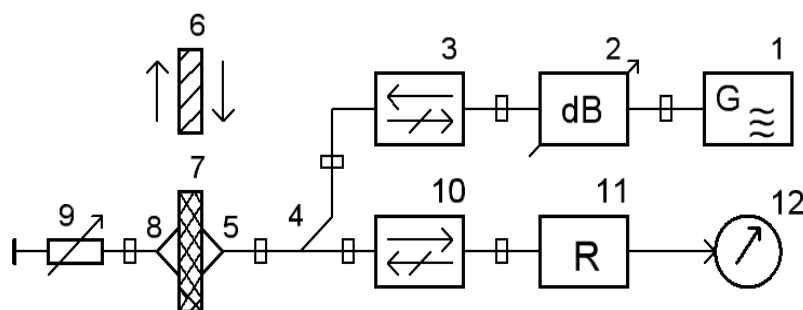


Рис.1 Схема измерения коэффициента отражения:

1 – генератор СВЧ шума; 2 – градуированный аттенюатор; 3 – вентиль; 4 – направленный ответвитель; 5 – приемно-излучающая антенна; 6 – металлический экран; 7 – исследуемый материал; 8 – антенна; 9 – согласованная нагрузка; 10 – вентиль; 11 – измеритель шума (радиометр); 12 – индикатор.

Измерение коэффициента отражения (КО) диэлектрического исследуемого материала 7 осуществляется методом сравнения измеряемого КО с его образцовым значением, в качестве которого используют металлический экран (отражатель) 6. При тонком исследуемом материале 7 целесообразно позади его расположить поглотитель СВЧ колебаний, чтобы предотвратить влияние переотраженных сигналов, например, согласованную на-

грузку 9 с антенной 8.

Шумовой сигнал генератора 1 СВЧ шума через градуированный аттенюатор 2 с нулевым начальным ослаблением, вентиль 3 и направленный ответвитель 4 поступает в приемно-излучающую антенну 5 и излучается в направлении исследуемого материала 7. Отраженный от исследуемого материала 7 шумовой сигнал принимается приемно-излучающей антенной 5 и через направленный ответвитель 4 и вентиль 10 поступает в измеритель шума (радиометр) 11, к выходу которого подключен индикатор 12.

С помощью градуированного аттенюатора 2 вводят ослабление, при котором входной сигнал индикатора 12 становится равным нулю (практически сигнал достигает минимального значения). Это означает, что мощность входного сигнала радиометра 11 приближается к его пороговому значению  $P_0$ . Если мощность генератора 1 СВЧ шума принять за  $P$ , то нулевое (минимальное) показание индикатора 12 означает:

$$SK_1K_2\Gamma P = P_0 \pm \Delta P, \quad (1)$$

где  $S$  - чувствительность радиометра 11;  $K_1$  - коэффициент передачи градуированного аттенюатора 2;  $K_2$  - коэффициент пропускания волноводного тракта;  $\Gamma$  - коэффициент отражения исследуемого материала 7;  $\Delta P$  - случайная погрешность измерения от флюктуаций порога чувствительности радиометра 11.

Далее вводят металлический экран 6 в промежуток между приемно-излучающей антенной 5 и антенной 8. Отраженный от металлического экрана 6 сигнал возрастает и показание радиометра 11 увеличивается. Вновь регулируют ослабление градуированного аттенюатора 2 в сторону его увеличения до восстановления нулевого (минимального) показания индикатора 12. При этом уравнение (1) принимает вид:

$$SK_2K_3\Gamma_0P = P_0 \pm \Delta P, \quad (2)$$

где  $K_3$  - новое значение коэффициента передачи градуированного аттенюатора 2;  $\Gamma_0$  - коэффициент отражения металлического экрана 6.

Из выражений (1) и (2) следует, что

$$K_1\Gamma = K_3\Gamma_0, \quad (3)$$

откуда искомый коэффициент отражения

$$\Gamma = \frac{K_3}{K_1}\Gamma_0. \quad (4)$$

Приняв  $\Gamma_0 \approx 1$ , окончательно получим:

$$\Gamma = \frac{K_3}{K_1}. \quad (5)$$

Обычно ослабление градуированных аттенюатор выражается в логарифмических единицах – децибелах (дБ). Поэтому формулу (5) прологарифмируем:

$$\lg \Gamma = \lg K_3 - \lg K_1. \quad (6)$$

Аттенюатор характеризується ослабленням (затуханням)  $A$ , т.е. отношением уровня мощности на входе к уровню мощности на выходе, выраженном в дБ:

$$A = 10 \lg \left( \frac{P_{BX}}{P_{ВЫХ}} \right). \quad (7)$$

С учетом (7) расчетная формула (5) принимает вид:

$$\Gamma(dB) = A_1 - A_2 = -\Delta A, \quad (8)$$

где  $A$  - ослабление аттенюатора по шкале в дБ.

Значение КО принято выражать в относительных единицах в пределах от 0 до 1. Для получения значения КО в относительных единицах можно воспользоваться таблицами перевода отрицательных величин разности ослаблений (8) в относительные величины, например, приведенных в [6], или воспользоваться формулой пересчета:

$$\Gamma(\text{отн.ед.}) = \frac{1}{10^{\frac{|\Gamma(dB)|}{10}}} = \frac{1}{10^{\frac{\Delta A}{10}}}. \quad (9)$$

Погрешность измерения КО в основном определяется нестабильностью флюктуационного порога чувствительности радиометра 11, т.е. случайной погрешностью  $\Delta P$  в выражениях (1) и (2). В свою очередь,  $\Delta P$  тем меньше, чем меньше влияние собственных шумов схемы радиометра 11 на его выходной сигнал [7].

Для минимизации влияния собственных шумов на результат измерения радиометр 11 выполняется по модуляционной схеме (рис.2), в которой измеряемый шум периодически накладывается на собственный шум, создавая модулированный сигнал. При этом собственный шум радиометра 11 может быть многим больше измеряемого шума [8].

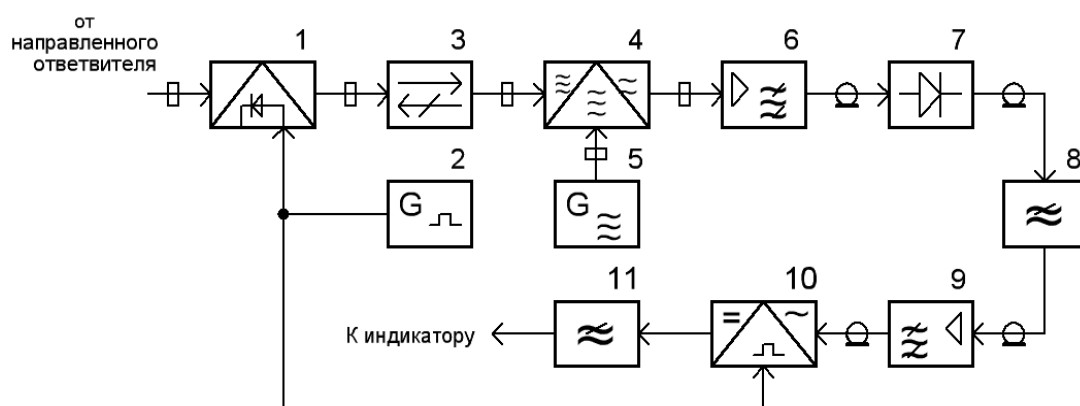


Рис. 2 Схема измерения отраженной мощности радиометром:

1 – СВЧ ключ-модулятор; 2 – генератор импульсов низкой частоты; 3 – вентиль; 4 – СВЧ смеситель; 5 – гетеродин; 6 – усилитель промежуточной частоты; 7 – квадратичный детектор; 8 – фильтр нижних частот; 9 – избирательный усилитель; 10 – синхронный детектор; 11 – фильтр нижних частот.

Периодическое наложение измеряемого шума на собственный шум радиометра осуществляется благодаря СВЧ ключу-модулятору 1, который управляется напряжением генератора 2 импульсов низкой частоты. Модулированный шумовой сигнал смешивается в СВЧ смесителе 4 с регулярным СВЧ сигналом гетеродина 5. Усилителем 6 промежуточной частоты выделяются разностные комбинационные частоты спектральных составляющих шума и монохроматического гетеродина 5. В результате на квадратичный детектор 7 воздействует узкополосный (в полосе пропускания усилителя 6 промежуточной частоты) модулированный по амплитуде шум. Низкочастотная огибающая, выделяемая квадратичным детектором 7 и фильтром 8 нижних частот, усиливается избирательным усилителем 9, настроенным на частоту генератора 2 импульсов низкой частоты. Усиленное напряжение выпрямляется синхронным детектором 10, управляемым тем же генератором 2 импульсов низкой частоты. Выпрямленное напряжение интегрируется (усредняется) фильтром 11 нижних частот с большой постоянной времени и поступает на индикатор 12 (рис.1).

В случае отсутствия внешнего измеряемого шума собственный шум радиометра не модулируется при периодической работе СВЧ ключа-модулятора 1 (рис.2). Поэтому выходное напряжение радиометра теоретически равно нулю. Практически из-за паразитной модуляции собственных шумов выходной сигнал фильтра 11 нижних частот отличен от нуля и определяет минимум в показаниях индикатора при измерении КО методом сравнения.

### **Выводы**

Таким образом, использование модуляционного измерителя шума в схеме сравнения КО позволяет количественно оценивать КО различных диэлектрических материалов в слабых электромагнитных полях с широким спектром колебаний. Облучение исследуемого материала именно шумовым сигналом дает информацию об усредненном КО в широкой полосе частот, а также обеспечивает соответствие уровней электрической и магнитной напряженностей поля реальным уровням облучения материалов от естественных источников ЭМИ. Последнее позволяет объективно судить о барьерных свойствах, например, материалов для одежды - как повседневной, так и защитной. Создание радиопрозрачной одежды при слабых ЭМИ миллиметрового диапазона позволит решить задачу получения одежды с заданными терапевтическими свойствами, например, с пропиткой лекарственными растениями.

### **Литература**

1. Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины. – К.: ФАДА, ЛТД. – 1999. – 199 с.
2. Скрипник Ю.О., Супрун Н.П., Шевченко К.Л., Ваганов О.А. Частотно-польова оцінка комфортності одягу // Вісник КНУТД. – 2009. - №2 (46). – С. 131-136
3. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения парамет-

ров технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 208 с.

4. Головкин Д.Б., Скрипник Ю.О., Яненко О.П. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин. – К.: Либідь, 2003. – 328 с.

5. Яненко А.Ф., Перегудов С.Н., Головачанская А.Д., Красюк А.Д. Электромагнитная идентификация стоматологических материалов // Материалы 20-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» «КрыМиКо-2010» - Севастополь. – 2010. - С. 1133-1135

6. Скрипник Ю.О., Манойлов В.П., Яненко О.П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: Навч. посіб. – Житомир «ЖІТІ», 2001. – 374 с.

7. Башаринов А.Э., Тучков Л.Т., Поляков В.М., Ананов Н.И. Измерение радиотепловых и плазменных излучений. – М.: Сов. Радио, 1968. – 380 с.

8. Головкин Д.Б., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Модуляционные СВЧ-измерители электрических и неэлектрических величин. – К.: МП «Леся», 2001. – 232 с.

*Скрипник Ю.О., Яненко О.П., Шевченко К.Л., Ваганов О.А. **Вимірювання коефіцієнта відбиття в шумових електромагнітних полях.** Розглянуто особливості вимірювання коефіцієнта відбиття (КВ) в шумових електромагнітних полях. Обґрунтована можливість вимірювання КВ шляхом порівняння його з еталонним значенням. Запропонована методика вимірювання КВ діелектричних матеріалів при їх опроміненні шумовим НВЧ сигналом. Показана можливість отримання кількісної оцінки КВ в слабких електромагнітних полях за рахунок використання модуляційного вимірювача шуму. Приведені основні співвідношення між НВЧ сигналами та показами радіометра.*

**Ключові слова:** коефіцієнт відбиття, шумовий сигнал, радіометр, діелектричні матеріали.

*Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Шевченко К.Л., Ваганов А.А. **Измерение коэффициента отражения в шумовых электромагнитных полях.** Рассмотрены особенности измерения коэффициента отражения (КО) в шумовых электромагнитных полях. Обоснована возможность измерения КО путем сравнения его с эталонным значением. Предложена методика измерения КО диэлектрических материалов при их облучении шумовым СВЧ сигналом. Показана возможность получения количественной оценки КО в слабых электромагнитных полях за счет использования модуляционного измерителя шума. Приведены основные соотношения между СВЧ сигналами и показаниями радиометра.*

**Ключевые слова:** коэффициент отражения, шумовой сигнал, радиометр, диэлектрические материалы.

*Skipnik Yu.A., Yanenko A.F., Shevchenko K.L., Vaganov A.A. **Measuring of reflectivity in the noise electromagnetic fields.** The features of measuring of reflectivity (R) are considered in the noise electromagnetic fields. Measuring possibility is grounded R comparing of him to the standard value. A measuring method is offered R dielectric materials at their irradiation by noise SHF by a signal. Possibility of receipt of quantitative estimation is rotined R in the weak electromagnetic fields due to the use of modulation measuring device of noise. Basic betweennesses are resulted SHF by signals and testimonies of radiometer.*

**Keywords:** reflectivity, noise signal, radiometer, dielectric materials.